

ESFUERZOS SOBRE EL CASCO (2)

Preparado por
Ing. Boris L. GUERRERO B.

Valparaíso, CHILE, 2011.

INDICE DE MATERIAS

Aceros	3
Proceso de producción del acero	5
Características mecánicas del acero	8
Dureza	9
Normas ABS para el acero naval	10
Estados alotrópicos del acero	11
Elementos de aleación	12
Impurezas del acero	14
Tratamientos superficiales	14
Tratamientos termoquímicos	16
Tablas de características de aceros	17
Elasticidad del acero	19
Esfuerzos sobre los metales	20
Deformación v/s Esfuerzo	22
Problema acerca esfuerzos	23
Esfuerzo de corte	23
Esfuerzo de torsión	26

ACEROS

Si bien en embarcaciones y naves menores suelen emplearse muchos materiales para la construcción de ellas (madera, fibra de vidrio con resina, ferro-cemento, aluminio), para las naves mayores se usa casi exclusivamente el acero. Es útil conocer en qué consiste este material y los cuidados que deben tenerse para evitar su deterioro.

Acero es la denominación que comúnmente se le da en ingeniería metalúrgica a una aleación de fierro (Fe) con una cantidad de carbono (C) variable entre el 0,1 y el 2,1% en peso de su composición, aunque normalmente estos valores se encuentran entre el 0,2% y el 0,3%. Si la aleación posee una concentración de carbono mayor al 2,0% se producen fundiciones que, en oposición al acero, son quebradizas y no es posible forjarlas sino que deben ser moldeadas, si bien tienen una alta resistencia, especialmente a la compresión.

No se debe confundir el acero con el hierro, que es un metal relativamente duro y tenaz, con diámetro atómico (dA) de 2,48 Å, ($1 \text{ Å} = 1 \times 10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}$) con temperatura de fusión de 1.535 °C y punto de ebullición de 2.740 °C. Por su parte, el carbono es un no metal de diámetro menor (dA = 1,54 Å), blando y frágil en la mayoría de sus formas alotrópicas (excepto en la forma de diamante). La difusión de este elemento en la estructura cristalina del anterior se logra gracias a la diferencia en diámetros atómicos.

El acero conserva las características metálicas del fierro en estado puro, pero la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos como no metálicos mejora sus propiedades físico-químicas.

Existen muchos tipos de acero en función del o los elementos de aleación que estén presentes. La definición en porcentaje de carbono corresponde a los aceros al carbono, en los cuales este no metal es el único aleante, o hay otros pero en menores concentraciones.

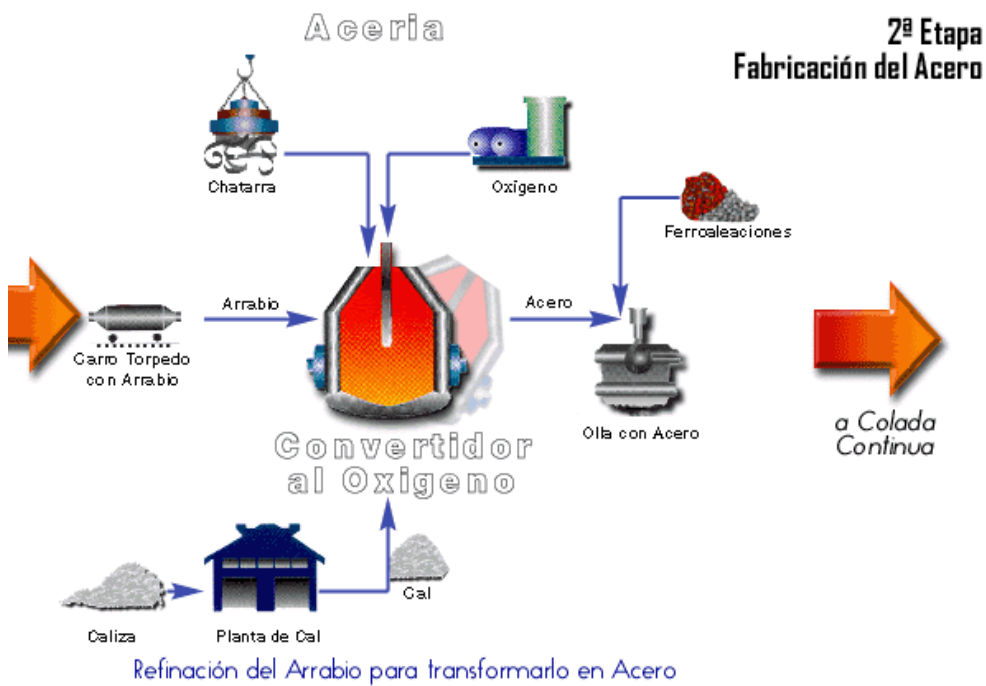
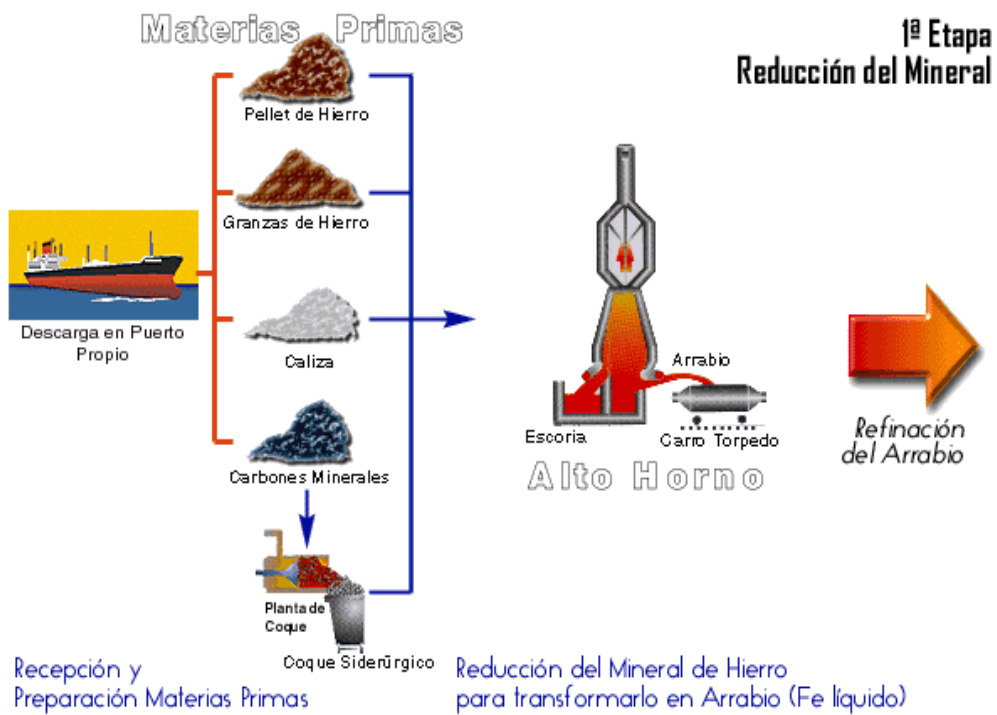
Otras composiciones específicas reciben denominaciones particulares en función de múltiples variables como por ejemplo los elementos que predominan en su composición (aceros al silicio), de su susceptibilidad a ciertos tratamientos (aceros de cementación), de alguna característica potenciada (aceros inoxidable) e incluso en función de su uso (aceros estructurales). Usualmente estas aleaciones de hierro se engloban bajo la denominación genérica de **aceros especiales**, razón por la que aquí se ha adoptado la definición de los comunes o "al carbono" que además de ser los primeros fabricados y los más empleados, sirvieron de base para los demás.

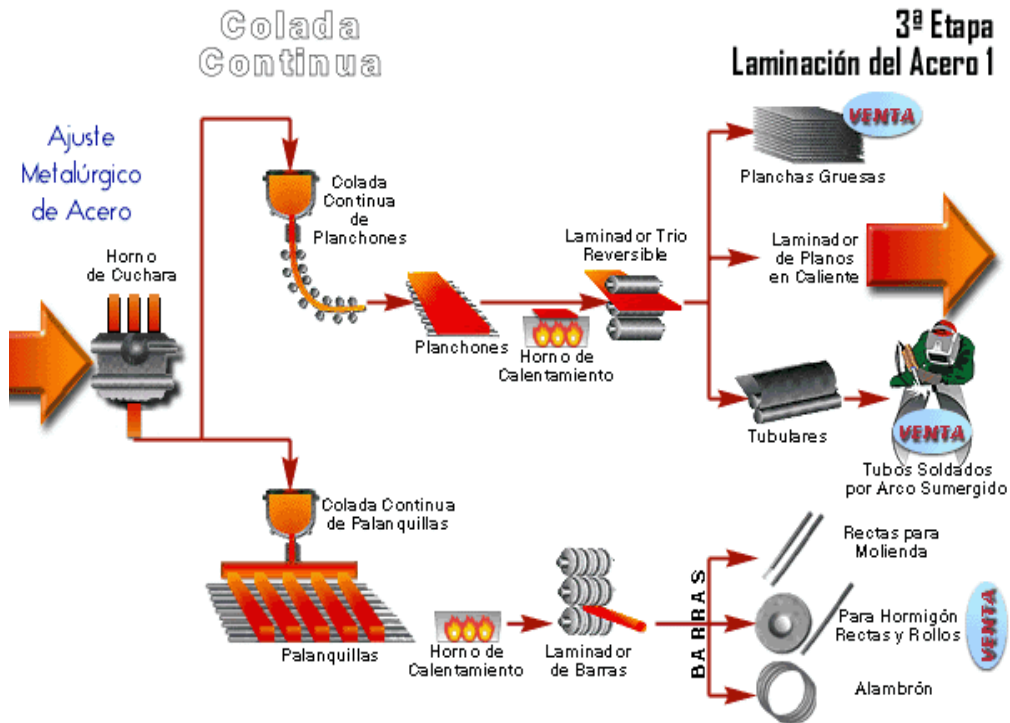
Los dos componentes principales del acero (Fe y C) se encuentran en abundancia en la naturaleza, lo que favorece su producción a gran escala. Esta variedad y disponibilidad lo hace apto para numerosos usos como la construcción de barcos, maquinarias, herramientas, edificios y obras públicas. A pesar de ello existen sectores que no utilizan acero (como la construcción aeronáutica), debido a su densidad (7.850 kg/m^3 de densidad en comparación a los 2.700 kg/m^3 del aluminio, por ejemplo).

En la actualidad se utilizan algunos metales y metaloides en forma de ferroaleaciones, que, unidos al acero, le proporcionan excelentes cualidades de dureza y resistencia.

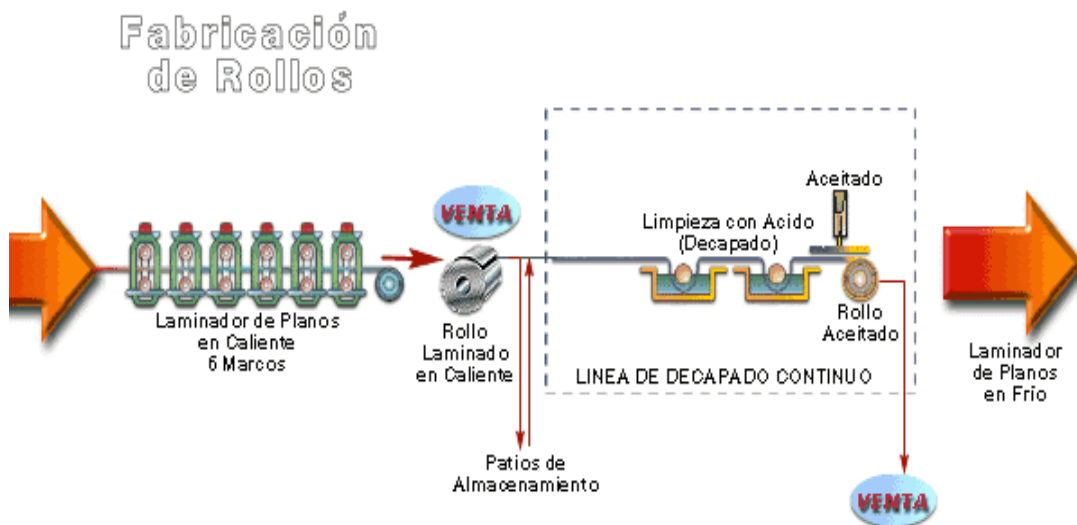
Actualmente, el proceso de fabricación del acero, se completa mediante la llamada metalurgia secundaria. En esta etapa, se otorgan al acero líquido las propiedades químicas, temperatura, contenido de gases, nivel de inclusiones e impurezas deseados. La unidad más común de metalurgia secundaria es el horno cuchara. El acero aquí producido está listo para ser posteriormente colado, en forma convencional o en colada continua.

El Proceso Productivo Siderúrgico se muestra en los gráficos indicados a continuación:

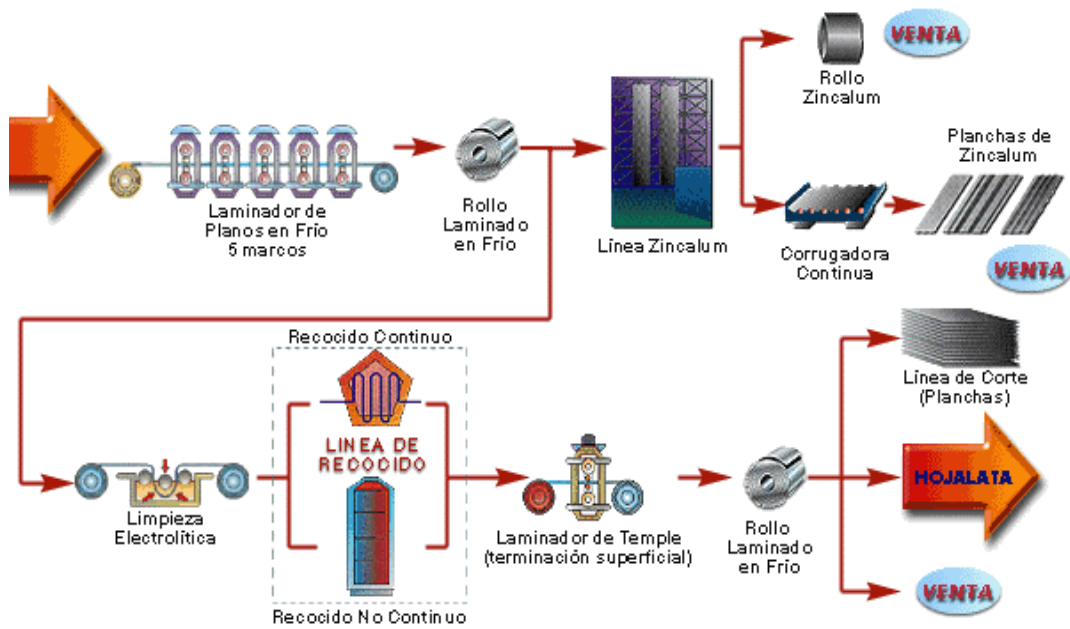




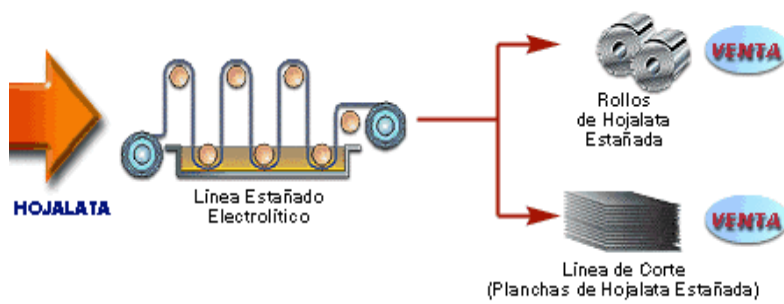
3ª Etapa Laminación del Acero 2



3ª Etapa Laminación del Acero 3



3ª Etapa Laminación del Acero 4



(Gráficos tomados de Internet)

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y TECNOLÓGICAS DEL ACERO

Su densidad media es de $7,85 \text{ kg/dm}^3$ ($7,85 \text{ Ton/m}^3$). Normalmente se asume que tiene una densidad 8 para los diferentes cálculos en que se usa dicho parámetro.

En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir. El coeficiente de dilatación, por cada grado centígrado, del acero es de 1.2×10^{-5}

El punto de fusión del acero depende del tipo de aleación y los porcentajes de elementos de aleación. El de su componente principal, el hierro (Fe) es de alrededor de $1.510 \text{ }^\circ\text{C}$ en estado puro (sin alear), sin embargo el acero presenta frecuentemente temperaturas de fusión de alrededor de $1.375 \text{ }^\circ\text{C}$, y en general la temperatura necesaria para la fusión aumenta a medida que se aumenta el porcentaje de carbono y de otros de aleación. Por otra parte el acero rápido funde a $1.650 \text{ }^\circ\text{C}$.

Su punto de ebullición es de alrededor de $3.000 \text{ }^\circ\text{C}$.

Es un material muy **tenaz**, especialmente en alguna de las aleaciones usadas para fabricar herramientas. (Como propiedad física de los materiales, la tenacidad es la capacidad para recibir energía o bien la **energía** que absorbe un material antes de romperse).

Relativamente **dúctil**. Con él se obtienen hilos delgados llamados alambres.

Es **maleable**. Se pueden obtener láminas delgadas llamadas hojalata. La hojalata es una lámina de acero, de entre $0,5$ y $0,12 \text{ mm}$ de espesor, recubierta, generalmente de forma electrolítica, por estaño o cinc.

Permite una buena mecanización en máquinas herramientas antes de recibir un tratamiento térmico.

DUREZA

Dureza es la propiedad que tienen los materiales de resistir el rayado y el corte de su superficie. La [dureza](#) de los aceros varía entre la del hierro y la que se puede lograr mediante su aleación u otros procedimientos térmicos o químicos entre los cuales quizá el más conocido sea el templado, aplicable a aceros con alto contenido en carbono, que permite, cuando es superficial, conservar un núcleo tenaz en la pieza que evite fracturas frágiles. Aceros típicos con un alto grado de dureza superficial son los que se emplean en las herramientas de mecanizado, denominados aceros rápidos que contienen cantidades significativas de cromo, wolframio, molibdeno y vanadio.

Los ensayos tecnológicos para medir la dureza son [Brinell](#), [Vickers](#) y [Rockwell](#), entre otros.

Características del Acero

Se puede soldar con facilidad.

Se le puede dar forma con relativa facilidad, como es el caso de dar las curvaturas que se necesita para conformar el casco de una nave.

La corrosión es la mayor desventaja de los aceros ya que el hierro se oxida con suma facilidad.

Tradicionalmente los aceros se han venido protegiendo mediante tratamientos superficiales diversos, tales como pinturas anticorrosivas y sistemas de galvanizado. Si bien existen aleaciones con resistencia a la corrosión mejorada como los aceros de construcción aptos para intemperie (en ciertos ambientes) o los aceros inoxidable.

Posee una alta conductividad eléctrica.

Composición Química del Acero para cascos de Buques según las

Normas del American Bureau of Shipping. (ABS)

Carbón	0,23 % máximo
Silicio	0,60 % máximo
Manganeso	0,7 % a 1,6 %
Azufre	0,04 % máximo
Fósforo	0,04 % máximo
Elem. residuales	0,8 % máximo

La **Tabla 1** relaciona la nomenclatura AISI-SAE con los valores de resistencia, ductilidad y dureza, conceptos que se explicarán más adelante. Sirve para relacionar la composición química y las propiedades mecánicas de los aceros. En las **Tablas 2 y 3** se entrega información detallada de la composición química de diversas aleaciones listadas en base su número AISI-SAE.

N° SAE o AISI	Resistencia a la tracción Rm		Limite de fluencia Re		Alargamiento en 50 mm %	Dureza Brinell
	Kgf / mm ²	Mpa	Kgf/mm ²	Mpa		
1010	40,0	392,3	30,2	292,2	39	109
1015	42,9	420,7	32,0	313,8	39	126
1020	45,8	449,1	33,8	331,5	36	143
1025	50,1	491,3	34,5	338,3	34	161
1030	56,3	552,1	35,2	345,2	32	179
1035	59,8	586,4	38,7	377,5	29	190
1040	63,4	621,7	42,2	413,8	25	201
1045	68,7	673,7	42,2	413,8	23	215
1050	73,9	724,7	42,2	413,8	20	229
1055	78,5	769,8	45,8	449,1	19	235
1060	83,1	814,9	49,3	483,5	17	241
1065	87,0	853,2	51,9	509,0	16	254
1070	90,9	891,4	54,6	535,4	15	267
1075	94,7	928,7	57,3	560,9	13	280
1080	98,6	966,9	59,8	586,4	12	293

Tabla 1
Propiedades Mecánicas. Barras de acero en caliente.



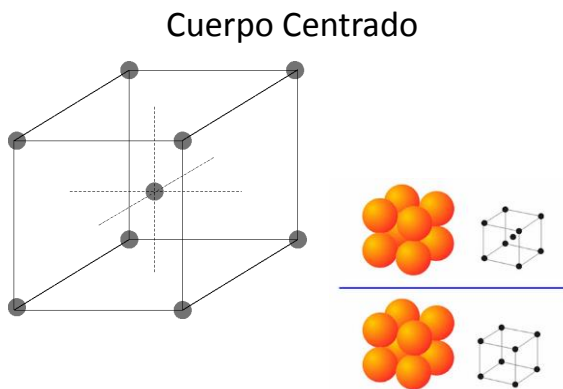
Normalmente los aceros usados a bordo corresponden a aceros 1025 a 1035.

Estados Alotrópicos

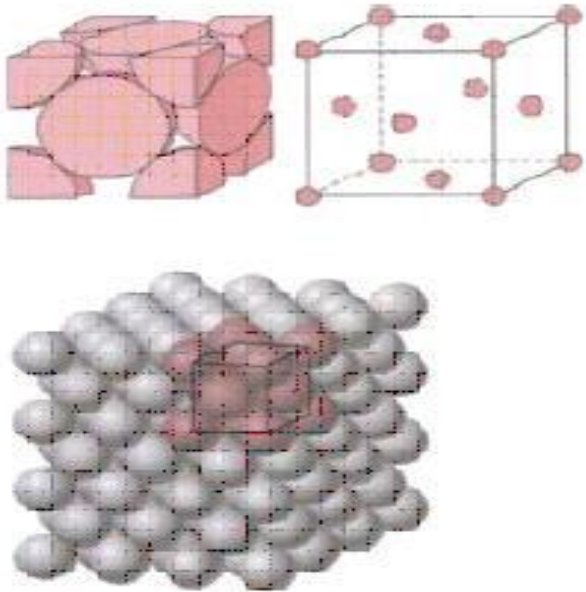
El hierro puro presenta tres estados alotrópicos a medida que se incrementa la temperatura desde la ambiente:

Hasta los 911 °C, el hierro ordinario, cristaliza en el sistema cúbico centrado en el cuerpo (BCC) y recibe la denominación de **hierro α** o **ferrita**. Es un material dúctil y maleable responsable de la buena forjabilidad de las aleaciones con bajo contenido en carbono y es ferromagnético (hasta los 770 °C).

Entre 911 y 1400 °C cristaliza en el sistema cúbico centrado en las caras (FCC) y recibe la denominación de **hierro γ** o austenita. Dada su mayor compacidad la austenita se deforma con mayor facilidad y es paramagnética.



CARA CENTRADA



Elementos aleantes del acero y mejoras obtenidas con la aleación

Aluminio: se usa en algunos aceros de nitruración al Cr-Al-Mo de alta dureza en concentraciones cercanas al 1% y en porcentajes inferiores al 0,008% como desoxidante en aceros de alta aleación.

Boro: en muy pequeñas cantidades (del 0,001 al 0,006%) aumenta la templabilidad sin reducir la maquinabilidad, pues se combina con el carbono para formar carburos proporcionando un revestimiento duro. Es usado en aceros de baja aleación en aplicaciones como cuchillas de arado y alambres de alta ductilidad y dureza superficial.

Cobalto: muy endurecedor. Disminuye la templabilidad. Mejora la resistencia y la dureza en caliente. Aumenta las propiedades magnéticas de los aceros. Se usa en los aceros rápidos para herramientas y en aceros refractarios.

Cromo: Forma carburos muy duros y comunica al acero mayor dureza, resistencia y tenacidad a cualquier temperatura. Solo o aleado con otros elementos, mejora la resistencia a la corrosión. Aumenta la profundidad de penetración del endurecimiento por tratamiento

termoquímico como la carburación o la nitruración. Se usa en aceros inoxidable, aceros para herramientas y refractarios. También se utiliza en revestimientos embellecedores o recubrimientos duros de gran resistencia al desgaste, como émbolos, ejes, etc.

Molibdeno: es un elemento habitual del acero y aumenta mucho la profundidad de endurecimiento de acero, así como su tenacidad. Los aceros inoxidable austeníticos contienen molibdeno para mejorar la resistencia a la corrosión.

Nitrógeno: se agrega a algunos aceros para promover la formación de austenita.

Níquel: Es el principal formador de austenita, que aumenta la tenacidad y resistencia al impacto. El níquel se utiliza mucho para producir acero inoxidable, porque aumenta la resistencia a la corrosión.

Silicio: aumenta moderadamente la templabilidad. Se usa como elemento desoxidante. Aumenta la resistencia de los aceros bajos en carbono.

Titanio: se usa para estabilizar y desoxidar el acero, mantiene estables las propiedades del acero a alta temperatura.

Tungsteno: Forma con el hierro carburos muy complejos estables y durísimos, soportando bien altas temperaturas. En porcentajes del 14 al 18 %, proporciona aceros rápidos con los que es posible triplicar la velocidad de corte de los aceros al carbono para herramientas.

Vanadio: posee una enérgica acción desoxidante y forma carburos complejos con el hierro, que proporcionan al acero una buena resistencia a la fatiga, tracción y poder cortante en los aceros para herramientas.

Impurezas en el acero

Se denomina impurezas a todos los elementos indeseables en la composición de los aceros. Se encuentran en los aceros y también en las fundiciones como consecuencia de que están presentes en los minerales o los combustibles. Se procura eliminarlas o reducir su contenido debido a que son perjudiciales para las propiedades de la aleación. En los casos en los que eliminarlas resulte imposible o sea demasiado costoso, se admite su presencia en cantidades mínimas.

[Azufre](#): límite máximo aproximado: 0,04%. El azufre con el hierro forma sulfuro, el que, conjuntamente con la austenita, da lugar a un eutéctico cuyo punto de fusión es bajo y que, por lo tanto, aparece en bordes de grano.

[Fósforo](#): límite máximo aproximado: 0,04%. El fósforo resulta perjudicial, ya sea al disolverse en la ferrita, pues disminuye la material su fragilidad.

Aunque se considera un elemento perjudicial en los aceros, porque reduce la ductilidad y la tenacidad, haciéndolo quebradizo, a veces se agrega para aumentar la resistencia a la tensión y mejorar la maquinabilidad.

Tratamientos superficiales

Debido a la facilidad que tiene el acero para oxidarse cuando entra en contacto con la atmósfera o con el agua, es necesario y conveniente proteger la superficie de los componentes de acero para protegerles de la [oxidación](#) y [corrosión](#). Muchos tratamientos superficiales están muy relacionados con aspectos embellecedores y decorativos de los metales.

Los tratamientos superficiales más usados son los siguientes:

Cromado: recubrimiento superficial para proteger de la oxidación y embellecer.

Galvanizado: tratamiento superficial que se da a la chapa de acero.

Niquelado: baño de níquel con el que se protege un metal de la oxidación.

Pavonado: tratamiento superficial que se da a piezas pequeñas de acero, como la tornillería.

Pintura: usado especialmente en estructuras, automóviles, barcos, etc

- Un proceso de tratamiento térmico adecuado permite aumentar significativamente las propiedades mecánicas de dureza, tenacidad y resistencia mecánica del acero. Los tratamientos térmicos cambian la microestructura del material, con lo que las propiedades macroscópicas del acero también son alteradas.
- Los tratamientos térmicos que pueden aplicarse al acero **sin** cambiar en su composición química son:
 - Temple
 - Revenido
 - Recocido
 - Normalizado

Tratamientos Termoquímicos

Los tratamientos termoquímicos son tratamientos térmicos en los que, **además** de los cambios en la estructura del acero, también se producen cambios en la composición química de la capa superficial, añadiendo diferentes productos químicos hasta una profundidad determinada. Estos tratamientos requieren el uso de calentamiento y enfriamiento controlados en atmósferas especiales. Entre los objetivos más comunes de estos tratamientos están aumentar la dureza superficial de las piezas dejando el núcleo más blando y tenaz,

disminuir el rozamiento aumentando el poder lubricante, aumentar la resistencia al desgaste, aumentar la resistencia a fatiga o aumentar la resistencia a la corrosión.

- Cementación
- Nitruración
- Cianuración
- Sulfinización

Cementación

Cementación (C): aumenta la dureza superficial de una pieza de acero dulce, aumentando la concentración de carbono en la superficie. Se consigue teniendo en cuenta el medio o atmósfera que envuelve el metal durante el calentamiento y enfriamiento. El tratamiento logra aumentar el contenido de carbono de la zona periférica, obteniéndose después, por medio de temple y revenidos, una gran dureza superficial, resistencia al desgaste y buena tenacidad en el núcleo.

Nitruración: al igual que la cementación, aumenta la dureza superficial, aunque lo hace en mayor medida, incorporando nitrógeno en la composición de la superficie de la pieza. Se logra calentando el acero a temperaturas comprendidas entre 400 y 525 °C, dentro de una corriente de gas amoníaco, más nitrógeno.

Cianuración: endurecimiento superficial de pequeñas piezas de acero. Se utilizan baños con cianuro, carbonato y cianato sódico. Se aplican temperaturas entre 760 y 950 °C.

Algunas Características de Aceros (Tablas de Manuales de Ingeniería)

Tabla 8b. Acero moldeado para piezas de construcción muy fatigadas

Marcas	Estado	Límite de fluencia Kg/mm ²	Resistencia Kg/mm ²	Alargamiento % L=5d
Acero moldeado especial (no aleado) . . .	Revenido	28	50	18
Acero moldeado blando al silicio.	»	30	50	18
Acero moldeado duro al silicio	»	35	55	16
Acero moldeado blando al manganeso. . .	»	30	52	18
Acero moldeado duro al manganeso . . .	»	33	58	16
Acero moldeado al níquel-manganeso . .	»	33	55	18
Acero moldeado al níquel de 2 a 3% . . .	»	35	60	18
Acero moldeado blando al cromo-níquel .	»	40	65	15
Acero moldeado duro al cromo-níquel. .	»	45	75	12

Tabla 2. Módulos de elasticidad y coeficientes de resistencia para el hierro y el acero
(E, G, σ_p, σ_S en Kg/cm² son aplicables para tracción y compresión¹⁾)

Clases de hierros	Módulo de elasticidad	Módulo de desgarramiento	Límite de proporcionalidad	Límite de fluencia y aplastamiento ²⁾	Resistencia a la		Resistencia viva
	E = 1/α Kg/cm ²	G = 1/β Kg/cm ²	σ _p Kg/cm ²	σ _S Kg/cm ²	tracción σ _B Kg/cm ²	compresión σ _{-B} Kg/cm ²	σ _R Kg/cm ²
Hierro dulce a la dirección del laminado	2.100.000	770.000	1.300 a 1.600	1.800 a 2.600	3.300 a 4.000 ³⁾	Vale σ _S	200 a 700
Acero dulce St 37 (hierro Siemens)	2.100.000	810.000	1.800 a 2.300	2.000 y más	3.700 a 4.500	Vale σ _S	600 a 800
Acero de construcción de 1.ª calidad St 48	2.100.000	810.000	2.800 a 3.200	> 3.000	4.800 a 5.800 ⁴⁾		
Acero al silicio St Si	2.100.000	850.000	3.200 a 3.600	3.600 a 4.200	5.000 a 6.200 ⁵⁾	Vale σ _S	800
Acero de construcción St 52	2.100.000	850.000	δ = 20%	3.600 y más ⁷⁾	5.200 a 6.200 ⁵⁾ (5.000 a 6.400)		
Acero dulce forjado	2.100.000	810.000	2.500 a 6.000	3.000 y más; material duro sin límite de fluencia	5.000 a 20.000	Si es blando vale σ _S ; si es duro σ _{-B} = σ _B	Acero tenaz 800 y más
Acero de muelles, sin templar	2.100.000 ⁸⁾	850.000	5.000 y más		hasta 10.000 ⁹⁾ y más		
Acero de muelles, templado	880.000		7.500 y más		hasta 17.000 ⁹⁾		
Acero-níquel para puentes (2 a 3,5% Ni)	2.090.000		δ = 20% ψ = 40%	3.800	5.600 a 6.700		
Acero moldeado (pág. 830)	2.150.000	830.000	3.000 y más	2.100 y más	3.500 a 7.000 y más	Como el acero dulce	Acero fund. tenaz 700 y más
Fundición (pág. 831) (de 14-91)	750.000 a 1.050.000 (promedio 1.000.000)	290.000 a 400.000 (380.000)	σ _p y σ _S no existen	Tracción: ε = $\frac{1}{1.250.000}$ σ ^{1,1} Compresión: ε = $\frac{1}{1.180.000}$ σ ^{1,05}	1.200 a 2.400	6.000 a 8.500	8 a 14

1) Acerca de σ_B véase pág. 699, nota 1. — 2) Aplicable al hierro soldado || a la dirección del laminado; para este hierro en dirección ⊥ al laminado se verifica σ_B = 2800 a 3500. — 3) E es aproximadamente independiente del grado de temple (Z d V d I, 1901, pág. 77); ensayos posteriores con acero al cromo acusaron mayor aumento de 1: E con el temple (Z d V d I, 1907, pág. 1445). — 4) Cuando el límite de fluencia no está bien marcado vale como σ_S el esfuerzo para el cual el alargamiento permanente es el 2% de la longitud inicial entre trazos. — 5) Para acero de construcción τ_B = 3800 a 4800. — 6) Para más detalles, véase la página 830 (FRIED. KRUPP). — Valores del grado de perfección ε (ε = ξ σ_B $\frac{b}{100}$): hierro dulce 0,7 a 0,8; acero dulce St 37, tenaz, 0,63; acero dulce para piezas de maquinaria 0,6 a 0,75; acero moldeado, tenaz, 0,7. — 7) Por encima de 18 mm de grueso, 3500 y más.

828 Cap. V: Resistencia de materiales. IX. Coeficientes de resistencia

Tabla 3. Aceros de construcción para máquinas
en particular para grandes piezas forjadas
(De la FÁBRICA KRUPP A. G., Essen)

Clase	Contenido %	Estado	Limite de fluencia σ_S Kg/mm ²	Resistencia a la tracción σ_B Kg/mm ²	Alargamiento δ en % para		Estricción ψ %	Dureza BRINELL recocido Kg/mm ²
					$l=10d$	$l=5d$		
Aceros no aleados	0,10 C	Recocido	22	36-44	24	28	60	36
	0,15 "		23	38-46	23	27	60	38
	0,20 "		24	40-48	22	26	60	40
	0,25 "		25	45-53	21	25	55	45
	0,35 "		27	50-60	20	24	50	50
	0,45 "		30	60-70	18	22	45	55
Aceros al silicio	0,55 "	Revenido	34	65-75	16	19	40	60
	1-1,5 Si		38	60-70	18	22	50	55
	1-1,5 Mn		45	70-80	14	17	50	65 ¹⁾
			50	80-90	12	15	45	70
			30	50-60	20	24	60	48
			40	65-75	18	22	55	55
Aceros al man- ganeso	1,5-2 Cr	Revenido	50	75-85	16	19	50	65 ²⁾
			55	85-95	12	15	45	70
			60	80-90	13	16	50	70
			70	90-100	12	15	50	70 ²⁾
			80	110-120	5	6	20	70
			32	50-60	20	24	60	48
Aceros al níquel	1-2 Ni	Revenido	35	60-70	18	22	55	70
			38	65-75	16	19	50	60 ²⁾
			42	70-78	14	17	45	65
			40	60-70	18	22	60	55
			42	65-75	16	19	55	60 ²⁾
			45	65-75	16	19	55	65
	3-5 Ni	Revenido	45	60-70	18	22	60	60
			50	70-80	14	17	50	65
			35	55-65	19	23	55	50
			35	55-65	19	23	60	55 ³⁾
			38	60-70	18	22	45	55
			42	65-75	16	19	50	60
Aceros al cromo- níquel	1-2 Ni	Revenido	40	60-70	18	22	60	55
			45	65-75	16	19	55	60
			50	70-80	15	18	50	65
			45	75-85	12	15	45	70
			45	60-70	18	22	60	60
			45	65-75	16	19	55	60
	2 1/2-5 Ni	Revenido	50	70-80	15	18	50	65
			60	80-90	13	16	45	70
			70	90-100	12	15	40	70
			75	90-100	12	15	45	75
			80	95-105	10	12	40	75
			90	105-115	8	10	35	75
110-120	Revenido	95	110-120	8	10	40	85	
		105	120-130	6	7	35	85 ⁴⁾	
		115	130-140	5	6	30	85	

Modos de aplicación, etc.—¹⁾ Ejes de piñones para grandes engranajes.—²⁾ Los

ELASTICIDAD

Un cuerpo está formado por moléculas o pequeñas partículas unidas entre sí. En el caso de los aceros estas partículas son los ‘cristales’ que se forman a medida que el metal pasa de un estado líquido al sólido, a medida que se enfría. Dependiendo de la composición química del metal y de la velocidad del enfriamiento será el tipo de los cristales que obtendremos, tal como se ilustró en gráficos anteriores (cristales de caras centradas o de cuerpos centrados).

Si una fuerza exterior trata de deformar el cuerpo, existirá una variación de las distancias entre átomos, moléculas y cristales, las que **reaccionarán** equilibrando la fuerza que trataba de deformarla. Ya que existe una fuerza y ésta ha recorrido una distancia, existirá un **trabajo**. Este trabajo se transformará total o parcialmente en energía potencial de deformación, tal como ocurre en un resorte comprimido.

Si se elimina la fuerza exterior, el cuerpo recuperará, total o parcialmente su forma original, entregando el trabajo potencial en forma de trabajo mecánico.

La capacidad que tienen los cuerpos de recuperar su forma original al eliminarse la fuerza que los deformaba se denomina elasticidad. Un cuerpo es perfectamente elástico si recobra totalmente su forma original al quitarse la fuerza deformante. En este caso se recupera totalmente el **trabajo de deformación**.

Deformaciones plásticas

El cuerpo es “parcialmente elástico” si mantiene una deformación parcial al quitarse la fuerza deformante. Parte de la energía potencial se ha transformado en calor en la deformación “plástica”.

Hay un rango en que la deformación es **elástica**. Sobre un cierto valor, que depende de la naturaleza de cada material, se llegará a un límite en que parte de la deformación es elástica y otra parte es plástica. Los mecanismos, estructuras y las naves se diseñan de tal forma que todas las partes trabajen dentro del límite elástico. Esto es

particularmente importante durante la estiba de una nave, ya que una mala distribución de las cargas puede producir **deformaciones plásticas** en partes de la estructura, pudiendo iniciarse el crecimiento de grietas y fracturas en el acero.

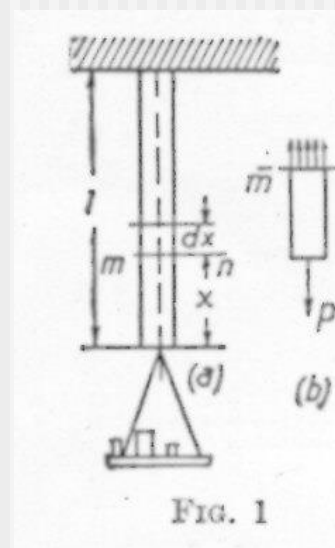
Si observamos el casco de una nave podremos ver “abolladuras” en él, notándose incluso las cuadernas y refuerzos longitudinales. Ello es porque la fuerza de las olas o la acción de defensas de los muelles han producido fuerzas tan grandes que han sobrepasado los límites elásticos, dejando deformaciones plásticas.

Esfuerzo sobre un metal

En general, un metal puede sufrir esfuerzos de tensión, de compresión, de torsión, de corte y la combinación de los anteriores.

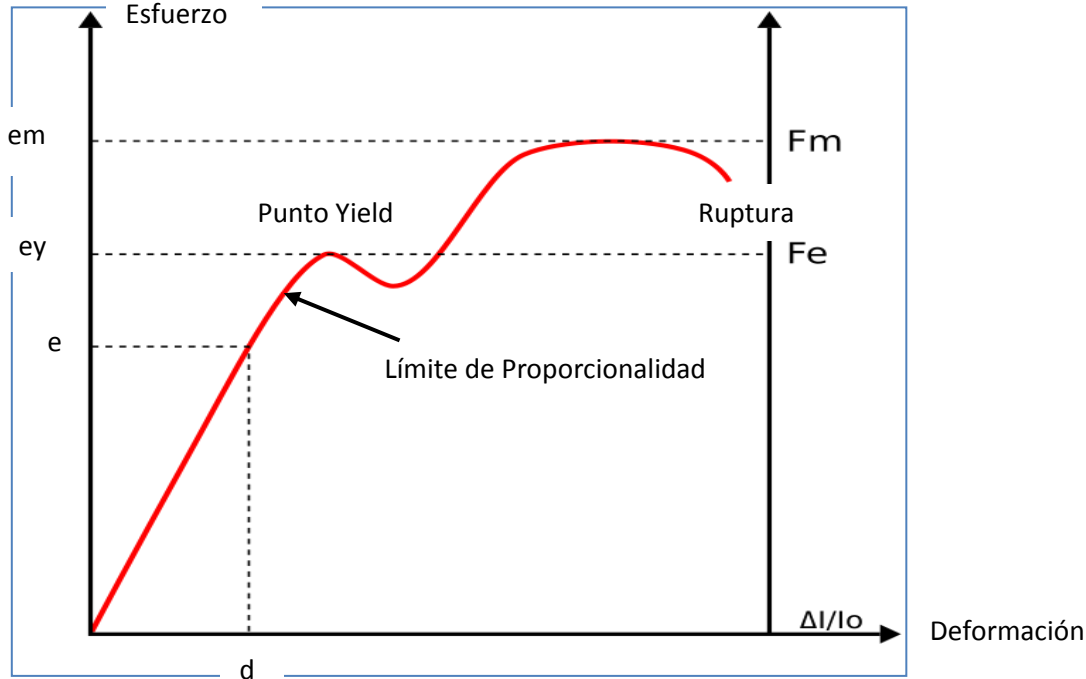
Esfuerzo sobre un metal

- Si una barra de acero soporta un peso P , el esfuerzo estará dado por la fuerza dividida por el área transversal
- $s = P/a$
- A la derecha se muestra el DCL de un trozo de la barra.



Deformación versus Esfuerzo

Se muestra el gráfico de alargamiento de una probeta al aplicársele carga progresiva.



En las abscisas se grafica la deformación obtenida y en las ordenadas se grafican los correspondientes esfuerzos aplicados.

Por ejemplo, si aplicamos un esfuerzo “e” obtendremos un alargamiento “d”.

También se grafica el límite de proporcionalidad, el punto Yield (e_y), el esfuerzo máximo (e_m) y el punto de ruptura.

La línea roja muestra la “función” gráfica que relaciona la deformación v/s el esfuerzo aplicado. Puede observarse que hay un tramo en que la línea es **recta**. Ello indica que la función es una ecuación de primer grado, vale decir hay una perfecta proporcionalidad entre causa y efecto. O sea, si duplicamos el esfuerzo, se duplica la deformación. Esto está establecido en la llamada ‘Ley de Hooke’. El punto en que la línea deja de ser recta se le llama ‘Límite de Proporcionalidad’.



En laboratorios de prueba de materiales se cuenta con maquinas que permiten realizar los test de esfuerzos de metales. Se somete una probeta de medidas standard a tensión progresiva. El sistema registra los alargamientos que se producen, obteniéndose el gráfico mostrado en la página 21.



En la fotografía de la izquierda se muestra una probeta de un cierto tipo de acero, ya fracturada por tensión. Se puede apreciar el acinturamiento y alargamiento en la zona de ruptura. Se obtiene además el % de alargamiento de la probeta.

Esfuerzos Aceptables en Aceros Navales

Para el acero usado en la construcción de naves podemos considerar un esfuerzo elástico de 2.000 a 2.500 kg/cm², tanto en esfuerzos de tensión como de compresión. Se usa un “factor de seguridad” para prevenir el caso que por algún motivo se sobrepase las fuerzas de diseño. Como norma, puede considerarse como un buen esfuerzo de trabajo que no se sobrepasen los 1.500 kg/cm². Este valor conviene ser recordado ya que permitirá hacer cálculos aproximados de la resistencia que podremos esperar de estructuras sencillas.

Problema

Un contenedor cuyo peso es de 28 TM es soportado por 4 perfiles de acero, verticales, cada uno de 6 cm². Determinar el esfuerzo que soporta cada perfil, considerando que cada uno soporta igual cantidad de peso

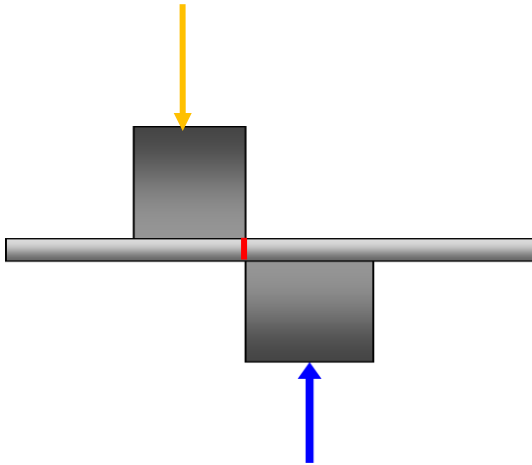
$$\text{Fuerza cada perfil} = 28/4 = 7 \text{ TM}$$

$$\sigma = \text{Fuerza} / \text{área} = 7.000 / 6 = 1.166,7 \text{ kg/cm}^2$$

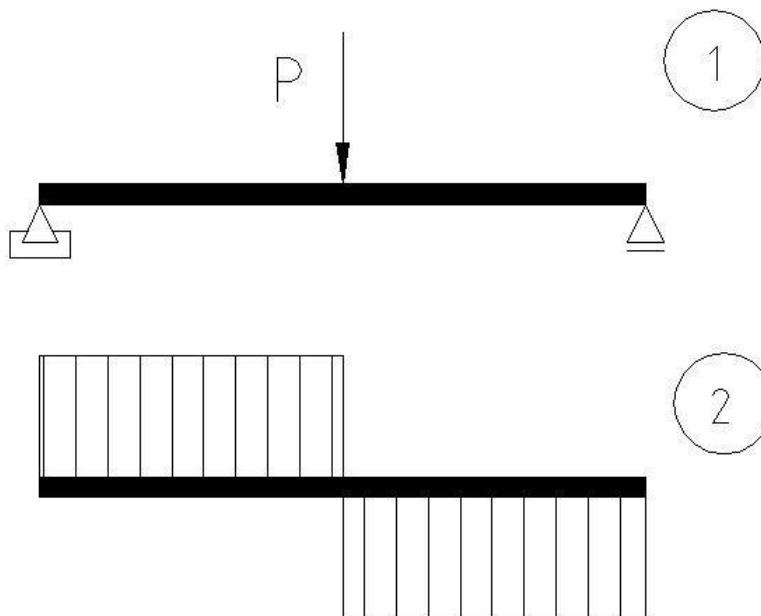
El valor obtenido está entre los valores aceptables.

ESFUERZO DE CORTE

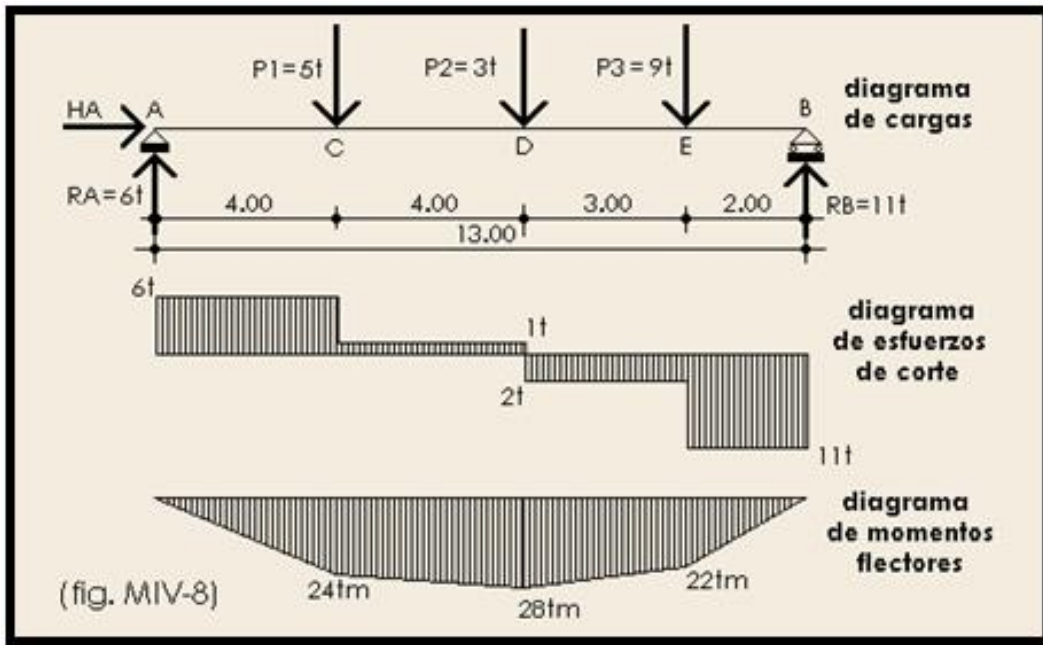
Otro tipo de esfuerzo que puede experimentar un cuerpo sólido es el esfuerzo de corte. Se caracteriza porque una parte del cuerpo es empujada en un sentido, mientras la otra parte es empujada en sentido contrario, tal como sucede al cortarse un cuerpo con una tijera o una guillotina. En el gráfico siguiente se muestra un caso de esfuerzo de corte, o cizalle, en la sección marcada en rojo. En dicha sección un grupo trata de ‘deslizarse’ con respecto al resto del cuerpo.



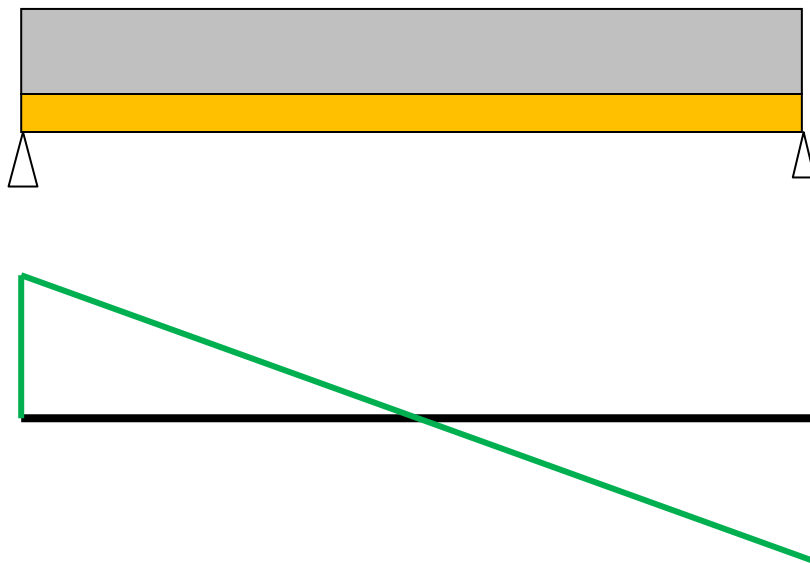
Este esfuerzo de corte se conoce a bordo como **shearing force (SF)**. Los valores máximos de SF están establecidos para cada mamparo crítico para cada nave y es responsabilidad del encargado de la estiba no sobrepasarlos, como veremos posteriormente.



En el gráfico se muestra el gráfico de distribución de esfuerzos de corte de una fuerza concentrada en una viga simplemente apoyada.

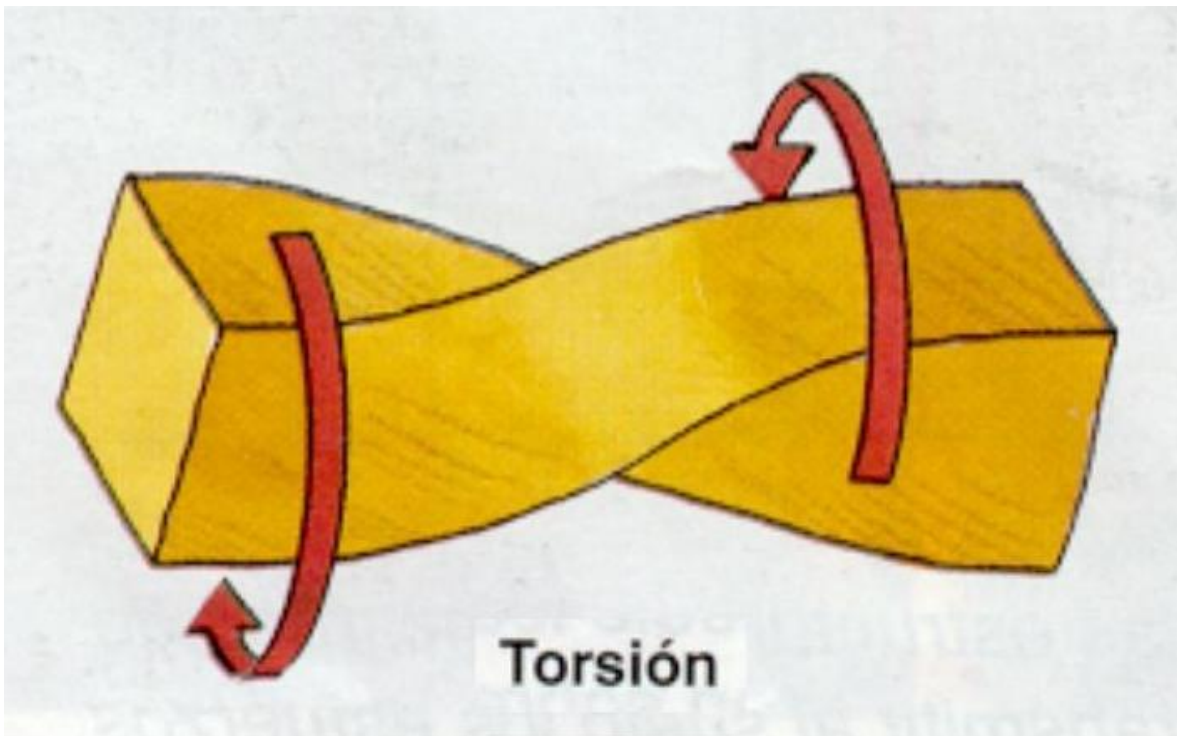
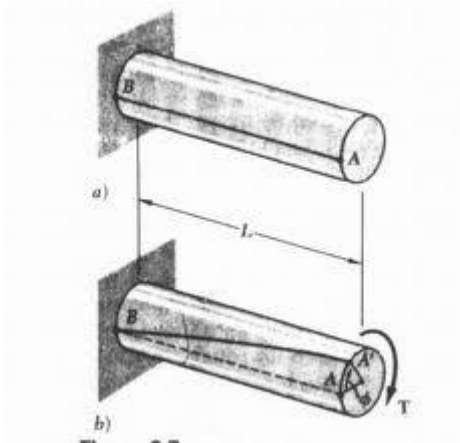


Tres fuerzas concentradas producirán el siguiente diagrama de esfuerzos de corte.



En el gráfico superior se muestra el diagrama de esfuerzos de corte en el caso de una viga simplemente apoyada que contenga una carga uniformemente distribuida.

ESFUERZO DE TORSIÓN



En las naves modernas deben controlarse los esfuerzos de torsión.